Creating a brighter future

Novas Tecnologias e Soluções FTTH

A White Paper by the

Deployment & Operations Committee

Contribuidores: José Salgado, Rong Zhao, Nuno Monteiro, Wolfgang Fischer

www.ftthcouncil.eu

Índice

Introdução

Com a instalação contínua e massiva de redes Fibre to the Home (FTTH) em todo o mundo, os operadores precisam de novas tecnologias FTTH que permitão aumentar a sua capacidade e possibilitar o suporte de novos serviços, coexistindo com o equipamento instalado e com toda a componente de rede passiva. Esta evolução tecnológica é uma questão extremamente crítica para a indústria das telecomunicações.

As redes óticas de acesso suportadas em tecnologias GPON e Gigabit Ethernet (GE) têm vindo a disponibilizar durante os últimos anos capacidade a preço competitivo para clientes residenciais. Com o crescimento de clientes conetados e aparecimento de novos serviços que exigem largura de banda elevada, tais como o HDTV, 3D-TV, serviços de vídeo de múltipla imagem e múltiplo ângulo, crescimento do unicast vídeo (em alternativa ao multicast), computação em cloud, teleconferência, e jogos de vídeo HD multijogador usados em grande escala, um aumento exponencial de capacidade será exigida nas redes dos operadores. A indústria está já a trabalhar na próxima fase, que permitirá um aumento exponencial de capacidade nas redes de fibra existentes. Os serviços empresariais e o BackHaul das redes móveis serão também altamente beneficiados com este aumento de capacidade das redes FTTH. É importante entender que o aumento de capacidade nas redes de óticas de acesso são opções de muito baixo custo e consequentemente mais atrativas quando comparadas com o recurso a linhas alugadas.

Drivers e Requisitos da evolução para as novas teconolgias FTTH

É espectável que os serviços empresariais e o backhaul móvel venham a solicitar larguras de banda maiores ou iguais a 1Gbps. Uma vez que os clientes residenciais requerem normalmente picos de largura de banda de curta duração, os seus requisitos serão menos exigentes. Deste modo, as atuais tecnologias PON são uma boa opção para os clientes residenciais, mas não têm a capacidade necessária para acompanhar o crescimento rápido de solicitações das redes móveis e empresariais. Estas questões serão endereçadas pelas PONs de próxima geração que irão adicionar aumento de capacidade e os níveis de qualidade de serviço exigidos. Para além disso, as PONs de próxima geração permitirão uma evolução suave das redes de acesso ótico existentes usadas maioritariamente em serviços residenciais, para redes de acesso convergentes que agregam as componentes residenciais, empresariais e backhaul móvel.

Estado da arte da normalização na perspectiva do FSAN/ITU e IEEE

Em 2006, o grupo de peritos do FSAN (Full Service Access Network) e do ITU Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) começaram a analisar as tecnologias que poderiam vir a suceder à GPON. Uma vez que as componentes passivas da rede representam entre 50% a 80% do investimento total de um deployment FTTH, os futuros standards do ITU-T teriam que ser compatíveis com as gerações anteriores, permitindo desta forma reutilizar e rentabilizar os investimentos feitos no passado.

Uma vasta gama de soluções técnicas foi considerada como possíveis candidatas, incluindo TDM-PON, WDM-PON, CDMA-PON, e outros. Muitas destas soluções apresentam diferenças significativas em termos de arquitetura e perfis de serviço quando comparando com GPON. Finalmente em 2010, a recomendação ITU-T G.987 (designada por XG-PON) foi concluída, baseada numa arquitectura TDM-PON.

Desde 2004 o IEEE tem vindo a desenvolver o standard *Ethernet in the first mile* (EFM IEEE 802.3ah). A evolução - 10G-EPON - foi ratificada em 2009 com a norma 802.3av do IEEE. A norma suporta duas configurações: configuração simétrica com débitos de 10 Gbps em ambas as direções, e configuração assimétrica com débitos de 10 Gbps em downstream e 1 Gbps upstream.

Os deployments FTTH suportados em Ethernet foram durante vários anos baseados em Fast Ethernet (FE), 100 Mbps simétricos. Quando o custo de Gigabit Ethernet (GE), com débito de 1 Gbps simétrico se aproximou do custo da FE, há alguns anos, o interface Gigabit Ethernet (GE) tornou-se a tecnologia padrão para este tipo de redes.

As normas relevantes para as redes Ethernet de fibra monomodo estão descritas no standard IEEE 802.3 como 100Base-BX10 (Fast Ethernet) e 1000Base-BX10 (Gigabit Ethernet), nas quais se utiliza apenas uma fibra e comprimentos de onda diferentes para upstream e downstream.

Um Gigabit Ethernet (GE) dedicado por assinante residencial irá fornecer capacidade suficiente por muitos anos. No entanto para os serviços empresariais e backhaul móvel, os limites de 1 Gbps já foram alcançados em muitos casos. O próximo passo - 10 Gigabit Ethernet (10GE) – foi já normalizado em 2002 como IEEE 802.3ae. A norma no entanto, ainda não tem uma versão de fibra única que, obviamente, seria chamada de "10GBASE-BX 10". Muitos fornecedores de módulos óticos têm, no entanto, vindo a desenvolver módulos que implementam transmissão em fibra única antecipando a futura normalização dos comprimentos de onda relevantes. A maioria

dos nós de acesso Ethernet existentes já hoje suportam interfaces de 10GE, deste modo, soluções de acesso e agregação baseados em 10GE podem ser facilmente implementadas.

A partir deste ponto, iremos concentrar-nos na evolução das normas PON, em particular aquelas que são especificados pelo ITU-T.
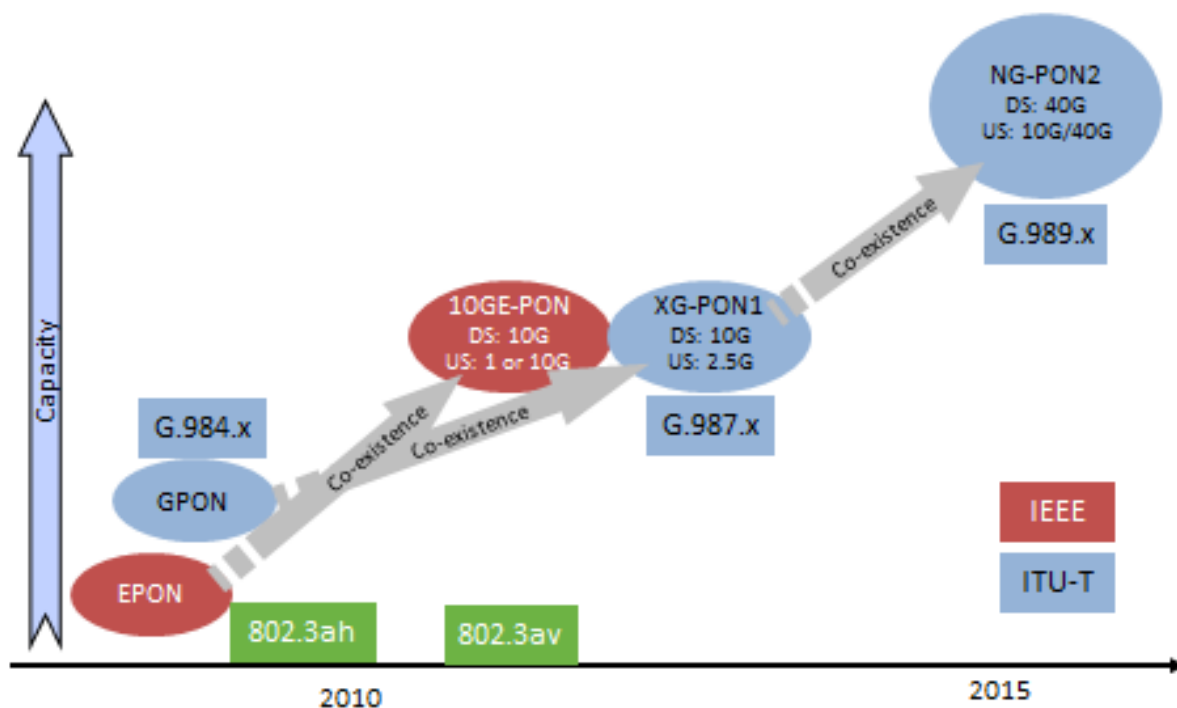
Figura 1 – Evolução da normalização PON

PONs de Próxima Geração

XG-PON1

A tecnologia XG-PON1 disponibiliza débitos de 10Gbps downstream, combinados com débitos de 2,5 Gbps upstream. Herdou a formatação da trama e a camada de controlo da GPON, disponibilizando todo o tipo de serviços a maiores débitos e com graus de splitagem superiores. Isto adiciona mais funcionalidades e maiores débitos às redes de acesso ótico, sem aumentar a complexidade. Para que as tecnologias GPON e XG-PON coexistam na mesma rede é necessário adicionar um acoplador ótico localizado na estação central. Este componente foi especificado

como WDM1r na norma G.984.5 do ITU-T. Guiados pelo mercado dos componentes óticos de 10G e pelas bandas disponíveis que asseguram a compatibilidade com o legado, o FSAN selecionou os comprimentos de onda para downstream de 1575 a 1580 nm e para upstream de 1260 a 1280nm.

Uma potencial barreira para a implantação de GPON e XG-PON1 na mesma infra-estrutura ótica passiva é a existência (ou inexistência) de filtros de bloqueio dos comprimentos de onda nos ONTs instalados no cliente. A maioria dos ONTs GPON modernos têm um filtro integrado para eliminar a interferência de comprimentos de onda XG-PON1. No entanto, os ONTs mais antigos podem não ter este filtro. Os operadores com deployments mais antigos em que os ONTs não possuem os filtros, terão de instalar filtros externos junto dos ONT de modo a garantir a coexistência das tecnologias GPON e XG-PON1.
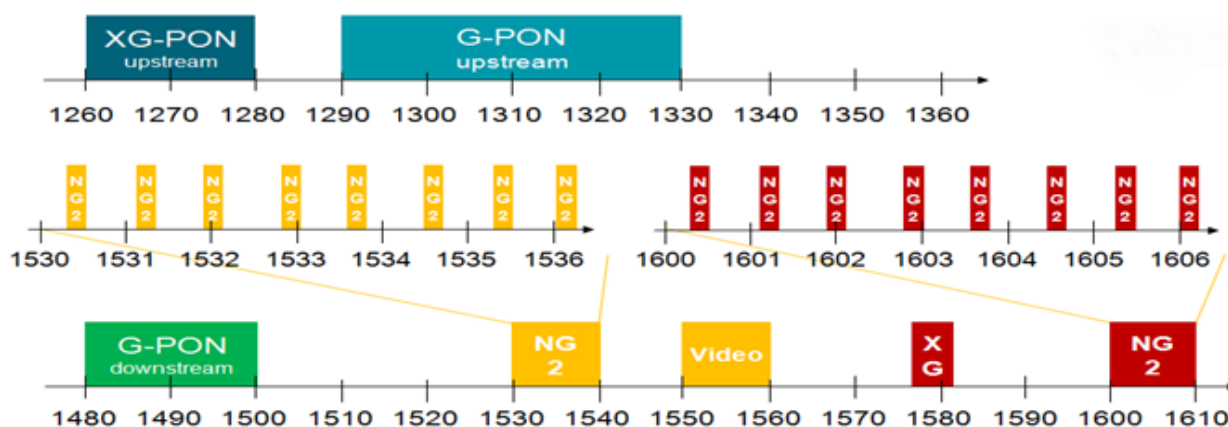
Figura 2 – Plano de comprimentos de onda

A classe B + GPON define um power budget ótico de 28dB. Com a adição do combinador WDM1r, uma ligeira perda adicional é adicionada ao power budget ótico XG-PON1, resultando em um budget equivalente de 29dB. Além disso, XG-PON1 especifica 31, 33 e 35dB de power budgets óticos opcionais.

Relativamente à configuração, operação e manutenção, o OMCI genérico (Optical network unit management and control interface specification ITU-T G.988) é utilizado tanto no GPON como no XG-PON1 e também NG-PON2

Optical fibre	Single fibre transmission, compliant with ITU-T G.652
Comprimentos de onda	Upstream 1260nm - 1280nm / Downstream 1575nm - 1580nm
Largura de banda	Downstream: 10Gbps / Upstream: 2.4Gbps Suporte de dynamic bandwidth allocation (DBA) Gestão de QoS e filas de tráfego
Nominal Line rate	Upstream: 2.48832Gbps / Downstream: 9.95328Gbps
Media Access Control Layer	Upstream: TDMA / Downstream: TDM Forward Error Correction with Scrambled NRZ Line Encoding
Power budget ótico	29dB ou 35dB
Split Ratio	1:32, 1:64, scalable up to 1:256
Alcance	Distância diferencias de 20 Km ou 40 Kms. Distância lógica de até 60 kms.
Sincronismo	Funcionalidades avançadas de sincronismo para aplicações de mobile backhauling
Segurança	Strong mutual authentication; Autenticação das mensagens de controlo e de troca das chaves de encriptação PON.
Poupança de energia	Durante as falhas de energia desligar todos os interfaces UNI que não estão activamente a ser usados Dozing – Desligar o transmissor e ativar apenas quando há efectivamente actividade Sleep mode, no qual o ONU desliga o receptor e transmissor quando detecta que o utilizador não tem actividade

Figura 3 – Principais funcionalidades do XG-PON1 ITU-T G.987

NG-PON2

A tecnologia PON de próxima geração, NG-PON2, vai aumentar a capacidade até pelo menos 40 Gbps downstream e até, pelo menos, 10 Gbps upstream. Múltiplos sistemas de XG-PON1 operam em diferentes pares de comprimentos de onda, em esquema DWDM, de modo a que eles possam ser "empilhados" na mesma fibra física.
Além de TWDM-PON, outras tecnologias propostas foram analisadas para suportar os requisitos de 40Gbps:

- WDM-PON
- Coherent ultra-dense WDM-PON (UDWDM PON)
- Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) PON
- 40Gbps TDM PON

A abordagem TWDM-PON é considerada a menos arriscado, menos disruptiva e menos cara do que as outras abordagens consideradas, uma vez que reutiliza componentes e tecnologias existentes.
NG-PON2 permite aos operadores colocar as diferentes tecnologias - GPON, XG-PON1 e NG-PON2 - na mesma rede de distribuição ótica. A coexistência é assegurada por um elemento passivo, o chamado elemento de coexistência (CE), que combina / divide os diversos comprimentos de onda associados com cada uma das tecnologias. Ao implementar NG-PON2, os principais desafios são a atribuição de espectro (a compatibilidade com os serviços de radiofrequência extremamente sensíveis é essencial) e a necessidade de ONTs sintonizáveis, que devam ser capazes de enviar e receber sinais em qualquer um dos comprimentos de onda específicos.

Uma das questões críticas a ser abordada pelo NG-PON2 é a necessidade de ONUs *colorless* que se esperam que sejam mais caros do que ONUs GPON. Lasers e recetores sintonizáveis serão utilizados para implementar a funcionalidade *colorless*. Várias abordagens para ONUs *colorless* estão sendo investigadas permitindo novas soluções de tecnologia a ser utilizada para melhorar o desempenho e reduzir o custo. A utilização de circuitos fotónicos integrados (PICs) nos ONUs deve ser tomada em consideração, a fim de otimizar os custos dos componentes óticos que irão permitir a massificação da tecnologia. Uma vez que as tecnologias atuais de sintonia dependem principalmente da variação de temperatura, o principal desafio é manter o consumo de energia na ONU baixo, respeitando desta forma os requisitos exigentes do acordo do Código de Conduta Europeu.
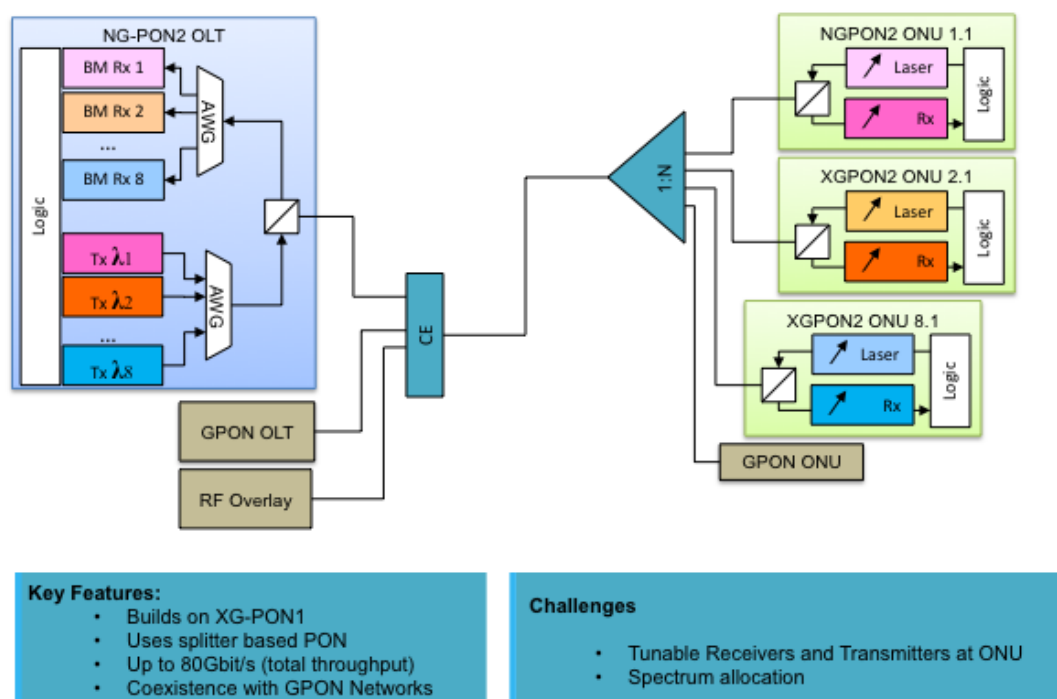
Figura 4 – Arquitectura TWDM PON: TDM PONs empilhadas

A figura 4 representa o diagrama de blocos básicos da arquitetura PON TWDM suportada no conceito WDM. O comprimento de onda do laser do ONU é ajustável, enquanto o comprimento de onda do receptor do OLT é fixo.

A tecnologia NG-PON2 é baseada numa ODN transparente, a fim de coexistir com GPON e XG-PON1, podendo suportar até 80 Gbps (8 comprimentos de onda) x 10 Gbps (capacidade por comprimento de onda).

Quatro topologias são actualmente suportadas pelo ITU-T, para NG-PON2:

- *Basic*: 40 Gbps downstream e 10 Gbps upstream, usando 4 comprimentos de onda
- *Extended*: 80 Gbps downstram e 20 Gbps upstream, usando 8 comprimentos de onda
- *Business*: Symmetrical services, 40/40 Gbps até 80/80 Gbps
- *Mobile Fronthaul*: PtP WDM – ver capítulo CPRI

A tecnologia NG-PON2 foi desenhada para permitir uma abordagem *pay-as-you-grow*. Na maioria dos casos, os operadores não precisarão dos 4 ou 8 pares de comprimentos de onda por ODN, desde o início. Os comprimentos de onda poderão vir a ser adicionados individualmente por PON de acordo com as necessidades.

Separação de serviços podem ser realizadas usando pares de comprimentos de onda específicos

do serviço, para evitar potenciais problemas de desempenho ou de segurança associados com aos sistemas TDM / TDMA partilhados.
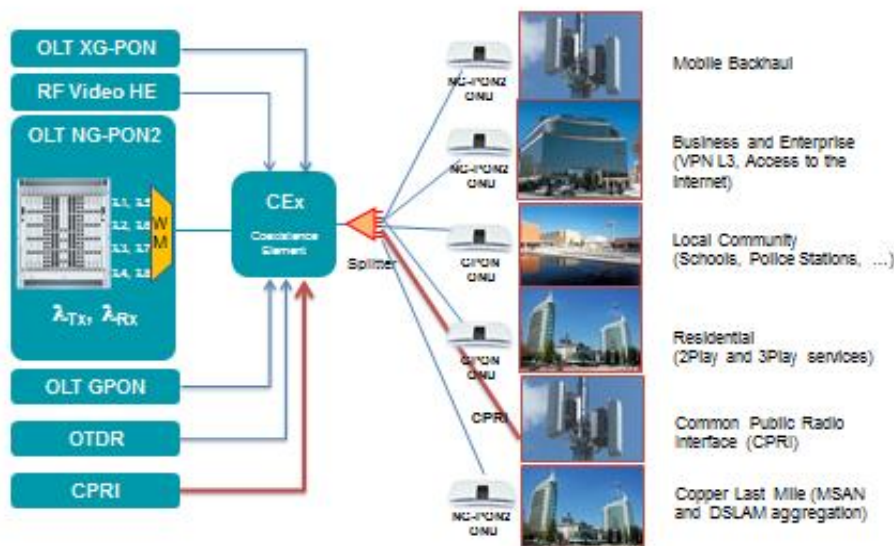
Figura 5 – Elemento de coexistência (ITU-T G.989)

O mesmo mecanismo permite também a separação dos comprimentos de onda da rede ótica passiva através da atribuição de pares de comprimentos de onda individuais por operador.
A Figura 6 mostra como comprimentos de onda individuais podem ser atribuídos a diferentes operadores ou a diferentes serviços pelo mesmo operador. Se um operador específico disponibilizar apenas um número relativamente pequeno de endpoints por PON, um nível de divisão adicional pode ser introduzido por trás do elemento coexistência (CE), a fim de otimizar a utilização de uma porta individual. Este nível de divisão adicional, no entanto, tem de ser tido em conta no cálculo do power budget ótico.
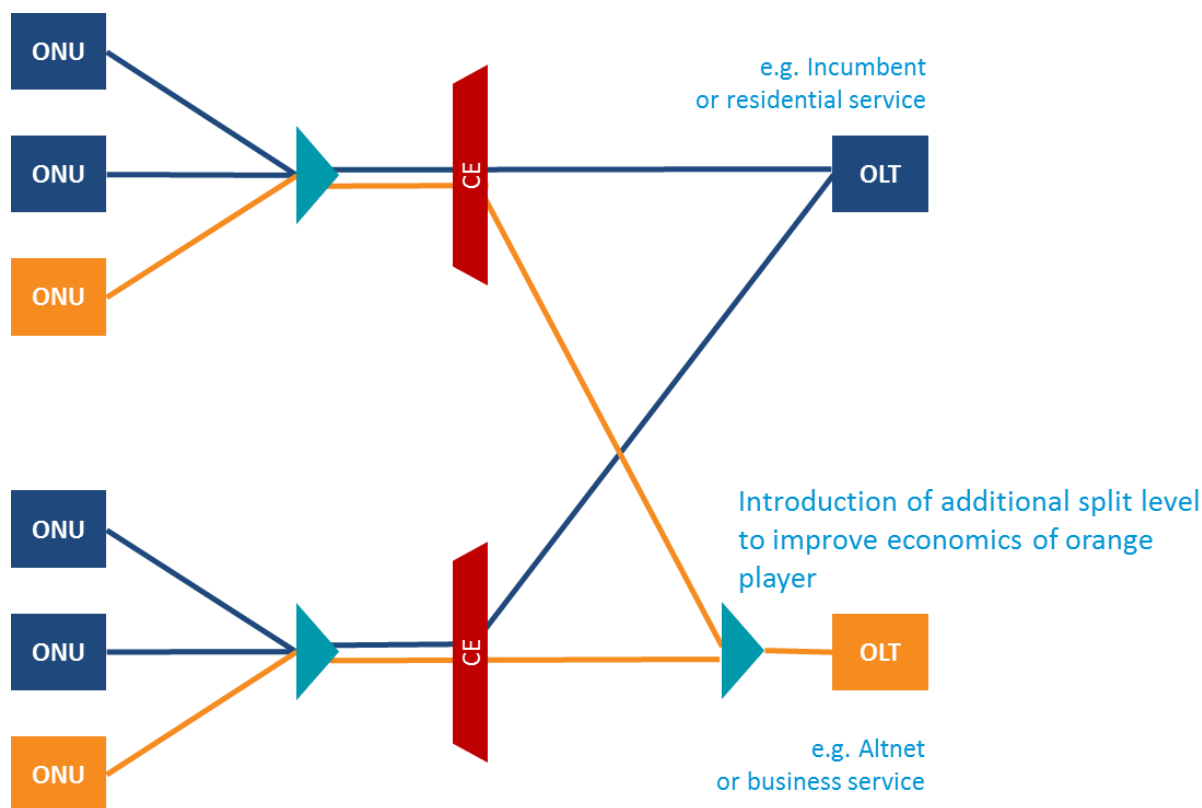
Figura 6 – Wavelength unbundling e separação de serviços

Os equipamentos NG-PON2 suportarão os requisitos de sincronismo das redes móveis (IEEE 1588v2 Boundary Clock and Transparent Clock) de forma a contemplar a precisão dos requisitos de sincronismo de frequência e fase.

As novas normas PON permitirão a coexistência de diferentes gerações de tecnologias PON. A norma NG-PON2 proposta é um passo no caminho de maiores débitos, esperando desta forma atender às necessidades futuras dos operadores. Alguns operadores planeiam evoluir diretamente de GPON para NG-PON2 descartando a passagem por XG-PON1.

Cenários de utilização

Transição suave de GPON para NG-PON2

A evolução de uma rede GPON requer um posicionamento apropriado dos elementos de coexistência (CE), bem como garantir que os ONUs GPON estão equipados com filtros WDM de acordo com a recomendação G.984.5 do ITU-T.

A Figura 8 mostra um cenário típico de uma rede GPON actual:
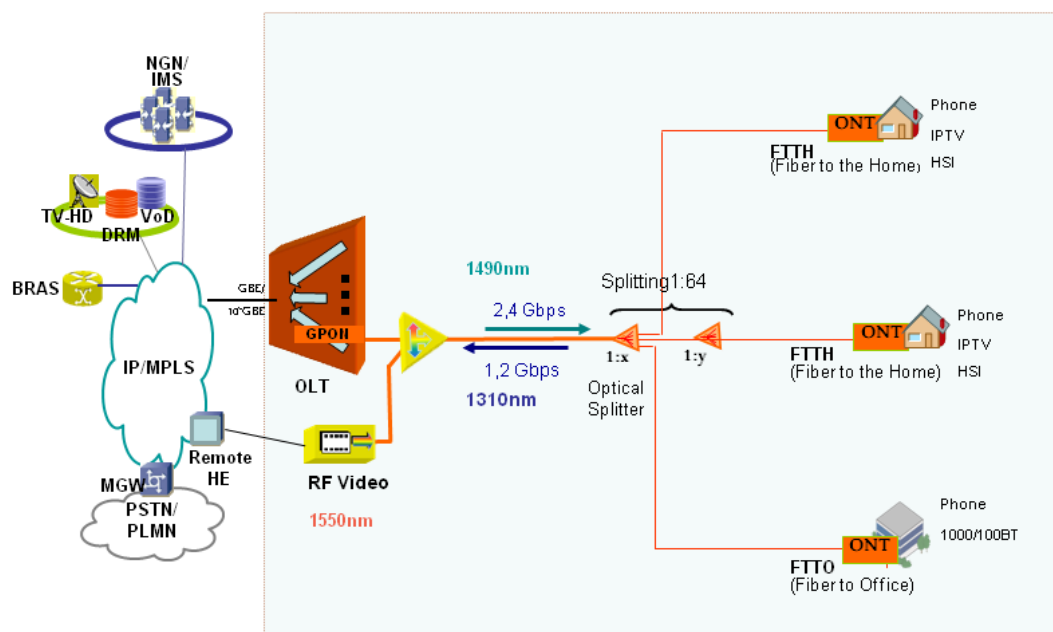
Figura 7 – Rede GPON atual

A evolução para uma rede NG-PON2 pode ser realizada através da simples inserção de uma placa de interface NG-PON2 no OLT (caso a OLT fornecida suporte cartas NG-PON2) e encaminhar as fibras para o elemento de coexistência (CE), proporcionando assim serviços de maior capacidade para os utilizadores finais.
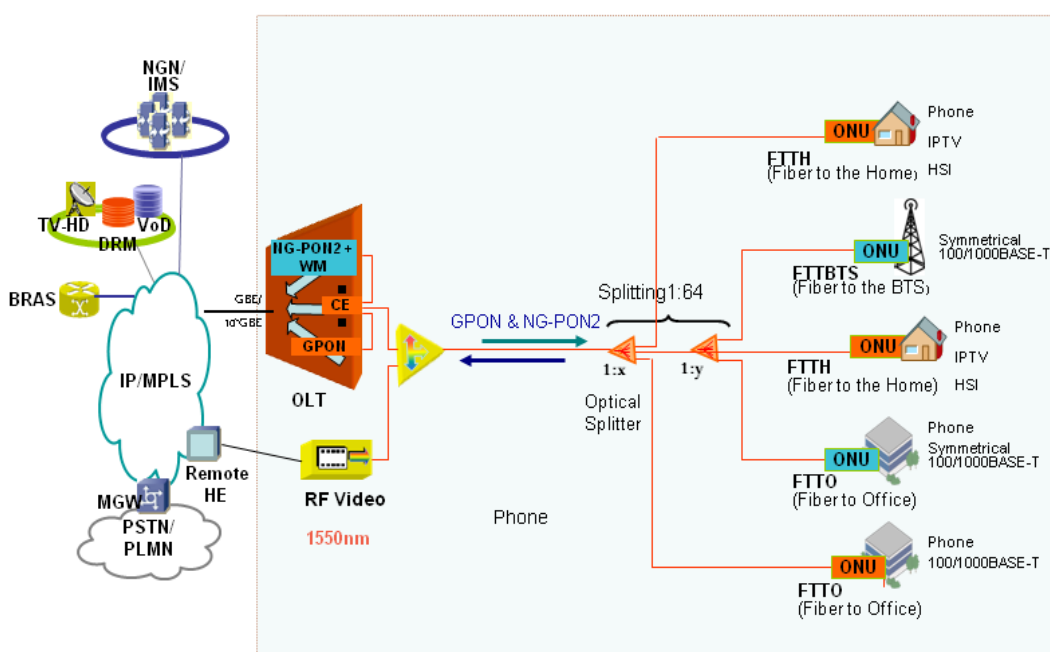
Figura 8 – Coexistência de GPON e NG-PON2

Os ONUs NG-PON2 usam emissores e receptores sintonizáveis *colorless*. O emissor é sintonizável em qualquer um dos comprimentos de upstream, enquanto que o receptor pode sintonizar em qualquer um dos comprimentos de onda downstream.

Aplicações NG-PON2

Backhaul de Small Cells

As Small Cells estão a ser implantadas pelos operadores móveis a uma taxa cada vez maior, uma vez que aumentam o débito e a cobertura das suas redes. Small Cells permitem aos operadores móveis o aumento de débitos em áreas de alta densidade e aumentam a sua cobertura, quando instaladas em zonas brancas. Para que os sites de Small Cells sejam viáveis, as operadoras móveis precisam de uma solução de fácil implementação e competitivas do ponto de vista económico.

Objetivos:

- Atenuar preocupações sociais sobre antenas
- Alavancar a infra-estrutura FTTx
- Small Cells as a Service (SCaaS) - para os MVNOs sem rede fixa

Qualidade de Serviço (QoS) e requisitos de desempenho:

- A capacidade da Small Cell deve ser transparente para o utilizador final
- Taxa de Transferência (pode ser ainda mais elevado em uma Small Cell quando comparado com uma Macro Cell)
- Baixa latência
- Disponibilidade quando necessário do ponto de vista da capacidade
- Sincronização, alinhamento em frequência com Macro e outras Small Cells, mobilidade contínua entre as camadas
- Sincronismos de fase e ToD

Backhaul de CPRI (Common Public Radio Interface)

Com a evolução das redes de banda larga sem fio, impulsionadas principalmente pelo 4G e 5G, espera-se que venham a ser suportados débitos até 10Gbps nos sistemas rádios de última geração. As Operadoras Móveis terão de aumentar significativamente os débitos das redes, mas

ao mesmo tempo também reduzir o OPEX e CAPEX uma vez que ARPU não está a crescer tão rápido quanto a capacidade.

Isto levará à implantação de estações base densamente distribuídas com alta eficiência espectral. As distâncias inter-sites serão significativamente reduzidas, enquanto que o número de nós remotos de rádio aumentam.
Altos débitos e links de rede móvel a custos competitivos serão necessários para ligarem cada uma das estações base às estações centrais. Uma vez que as soluções atuais suportadas em SDH e IP são consideradas caras do ponto de vista de implantação e operação, redes óticas de baixo custo têm sido sugeridas. É necessário também garantir o compartilhamento de recursos de rede entre diferentes operadores. O conceito WDM do NG-PON2 pode ser aqui aplicado, atribuindo um par de comprimentos de onda a cada um dos sites de rede móvel (numa lógica de WDM PON).
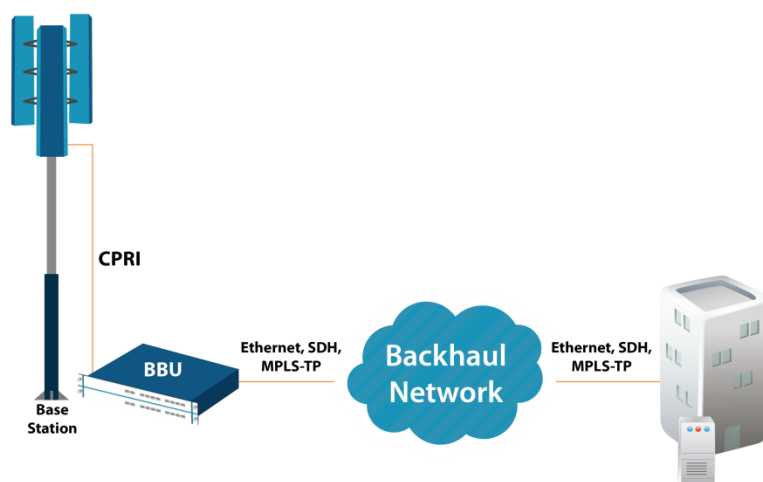
Figura 9 – Topologia de backahaul CPRI atual

De modo a garantir o compartilhamento de recursos, está a ocorrer uma mudança de paradigma na implantação da infra-estrutura de rede móvel. Evoluindo das tradicionais estações base caras e de alta potência para unidades remotas rádio suportadas em CPRI (Common Public Radio Interface) transportadas sobre WDM (usando comprimentos de onda disponíveis no espectro NG-PON2).
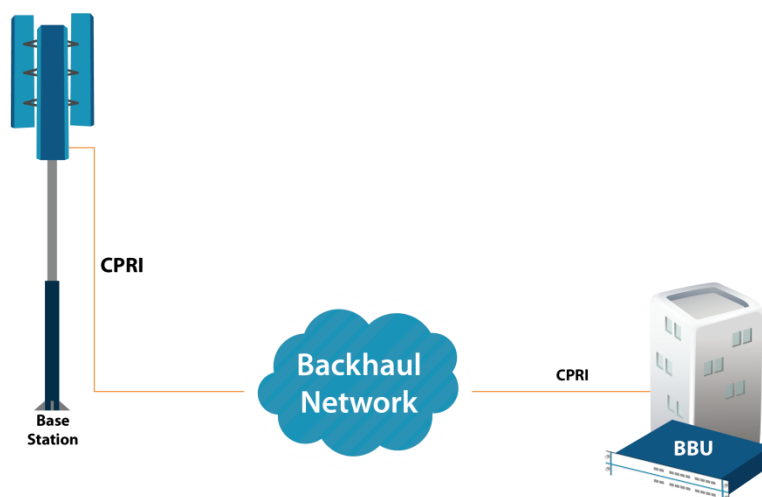
Figura 10 – Comprimentos de onda dedicado para o CPRI

Com isto consegue-se uma grande diminuição de jitter (<1 us) e de perda de pacotes. Além disso, a normalização da ‘common public rádio interface’ (CPRI) é orientada para a disponibilização de soluções de baixo custo para suporte de topologias emergentes wireless de banda larga, uma vez que estações base rádio simples remotas podem ser localizadas em locais menos exigentes do ponto de vista ambiental, sendo controladas a partir da estação central. Isto irá reduzir OPEX e CAPEX:

- Menos visitas às estações base (as atualizações podem ser realizadas centralmente)
- Redução de custos (aluguer de sites) e de construção de novos sites
- Eliminação do ar condicionado dos sites
- Maior segurança (não há sites para invadir)
- Melhorias do *jitter* e *wander*

Desafios, Pontos Críticos e Conclusões

As PONs atuais, especialmente GPON, serão rentáveis e a sua capacidade será suficiente no curto e médio prazo para as componentes residenciais. A principal preocupação são as novas demandas de débitos dos serviços empresariais e redes móveis e das futuras aplicações de altas velocidades dos utilizadores residenciais. Para estes, as novas tecnologias têm de ser introduzidas de forma gradual, implementando cenários que façam sentido do ponto de vista de negócio, a fim de equilibrar os crescentes requisitos de velocidade com as expectativas de receita.

Os operadores e o sector público estão a fazer grandes investimentos na construção de infra-estruturas de redes óticas passiva. É obrigatório que as novas tecnologias venham a utilizar essas infra-estruturas, sem qualquer modificação.

Em termos de débitos, a tecnologia XG-PON é a evolução natural das redes GPON, mas a necessidade de débitos mais elevados podem levar os operadores a evoluir diretamente para NG-PON2.
TWDM-PON é a solução técnica de NG-PON2 uma vez que reutiliza todo o investimento feito na rede ótica passiva.

Referências

ITU-T Recommendation G.984

ITU-T Recommendation G.987

ITU-T Recommendation G.694

IEEE Ethernet First Mile Standards 802.3ah-2004, included in 802.3-2005.

ITU-T Recommendations G.983.

Infonetics Research: PON and FTTH Equipment and Subscribers, February 2015.

G.multi - Describes generic multi-wavelength control in PON access systems

Cisco (The Internet of Everything, 2013),